心理科学进展 2019, Vol. 27, No. 2, 242–250
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2019.00242

路径知识习得的认知老化效应*

张爱珍[1] 王 垚[1,2] 李 晶[1]
([1]南京师范大学心理学院, 南京 210097) ([2]河北中医学院, 石家庄 050000)

摘 要 年龄与路径知识习得的关系是空间与认知老化两大领域研究的重要议题。老年人在面对不同的路径学习环境时呈现出不同的认知老化表现。以往与年龄相关的路径知识习得能力变化的研究, 主要支持了认知老化衰退理论。然而近来发现随着年龄增长, 老年人保留了一种空间认知补偿能力。由此, 在对前人文献进行回顾和反思的基础上, 整合路径知识习得的认知老化表现及机制以探究缓解空间认知老化可能的内部因素和外部有效措施。

关键词 认知老化; 路径追踪; 路径整合; 衰退机制; 路径知识
分类号 B844

1 引言

日常生活中人们需要经常在环境中走动。某段行程开始之时, 常常需要在脑海中计划路线, 同时不断更新位置和朝向信息找到前进的方向并最终到达终点(宛小昂, 2016), 这个过程称之为空间导航(Spatial navigation), 人的空间认知(Spatial cognition)能力在此过程中起着极为重要的作用。个体置身于空间环境中, 通过一条路线学习到一个无法直接观察到的新目标, 这个过程称作路径学习(Moffat, 2009)。通过内部信息更新(前庭觉、本体觉、传出指令的副本等)及外部信息积累(听觉、视觉路标、光流、嗅觉等)获得所走路径的相关知识, 即为路径知识习得。

以往的观点认为, 老化引起一系列功能衰退问题。前人文献主要集中于研究老化的衰退机制, 一般认知过程的老化包括: 环境知觉、工作记忆、认知控制或操作执行(Borella, Meneghetti, Ronconi, & De Beni, 2014)等过程的老化及与空间能力相关的更新信息、推断距离和方向、学习不熟悉的路线、记忆地标(Adler et al., 2014; Grewe et al., 2014)等任务效率的下降。由此, 正常老化个体的路径知识习得能力会随着年龄的增长而变化, 这种变化会直接反映在老年人的寻路过程中。根据所处环境、路径类型、实际目的地位置的不同, 如路径追踪任务与路径整合任务, 个体将呈现出不同的认知老化表现。这种显著的认知老化, 是否只涉及路径知识习得相关能力的衰退? 近来的研究发现, 视觉支配性和多感觉融合能力的提高(Diaconescu, Hasher, & McIntosh, 2013)及年龄相关的大脑额叶激活增强(Hakun, Zhu, Johnson, & Gold, 2015)可能为老化效应提供一种补偿作用。

纵观研究结果可以发现, 正常衰老个体在路径追踪和路径整合任务中表现出了显著的认知老化差异。同时, 对于老化问题不同的研究切入点产生了有争议的两种观点: 衰退理论——正常老化导致个体路径知识习得过程相关的各项能力均衰退; 补偿理论——个体老化过程保留了部分补偿机制。针对不同的研究结果梳理前人观点, 阐明空间认知老化的具体表现和认知机制及其对老年人路径知识习得能力的影响。旨在对老年人路径学习中出现的问题及其原因进行分析, 为缓解认知老化的负面影响效应提供一些建议, 并提出有效的措施以解决或减少此类问题的发生。

2 路径知识习得中认知老化的表现: 来自路径追踪与路径整合的证据

研究者们在进行路径知识习得的相关研究时,

收稿日期: 2018-05-19
* 江苏省高校自然科学基金(17KJD19002), 南京师范大学“青蓝工程”资助。
通信作者: 李晶, E-mail: lij@njnu.edu.cn

通常按照任务的类型将路径知识的习得过程分为路径追踪(route retrace)和路径整合(path integration)。研究通常存在两种实验环境，第一种是真实环境(Real Environment)，在开放环境下进行实验时可能存在部分额外变量无法控制的问题。随着计算机技术的发展，对此类问题的解决出现了突破。第二种是虚拟现实(Virtual Reality)技术，即通过计算机及相关技术生成与真实环境类似的数字化环境，通过交互设备来进行信息传递。常见的虚拟现实系统按照沉浸性从低到高可以分为：桌面式、沉浸式、分布交互式等多种类型。鉴于空间路径问题的复杂性和对实验变量控制要求的精确性，以下关于路径追踪和路径整合的实验研究环境主要通过 VR 来实现。

路径追踪是一种对于不熟悉的环境至关重要的导航能力——从刚走过的路径末端回到原点的导航过程，它可以使导航者返回已知环境中的某个部分(Miller & Eilam, 2011)。根据刺激-反应模型，将路径追踪看作一系列刺激-反应关联的逆顺序和逆向过程，需要了解一个决策点的方向与路线前进方向之间的空间关系。路径追踪的实验范式如图 1 其包含两个部分，学习阶段和测试阶段。在学习阶段，被试需要沿着完整的复杂路径行走两次，每个十字路口都有一个显著的地标图形，例如瓶子、足球、吊灯等物件，并要求被试对路径进行记忆。在测试阶段，被试需要完成三种任务：1)路径方向任务，在开始行进时对前进方向进行判断，起始点相对于终点的方向与学习阶段相比是同向还是反向。2)交叉点方向任务，当被试到达一个十字路口时根据出现的地标特性判断下一步的转向方向，向左、向右或是直行。3)地标序列任务，给被试呈现一幅包含路径中三个地标的图片，要求指出如果当下的路径方向保持不变在下一个路口会遇见哪个地标。三种任务从不同的方面对被试路径知识的掌握程度进行测量，也从侧面反映出路径知识习得的有效性和准确性(Wiener, Kmecova, & de Condappa, 2012)。

Wiener (2012)采用此范式进行研究结果发现，从一个开始位置到达一个目标位置的路径习得过程存在与年龄有关的损伤。老年人在学习一种特定的路径时，对于获取和检索由一系列表征组合起来的环境关键特征方面表现出一定的困难，包括一系列的刺激-反应关联、场景识别、地标回顾、沿着路径方向进行地标排序、将方向信息与地标联系起来及从导航者的角度编码环境信息形成自我中心表征等过程，这些过程都需要依赖视点的抽象记忆编码。在实际的路径追踪过程中地标序列是相反的，因此需要对地标进行重新排序、转换前进路径的知识并协调路径信息之间的关系，这种协调过程的效率受到认知老化的影响。同时

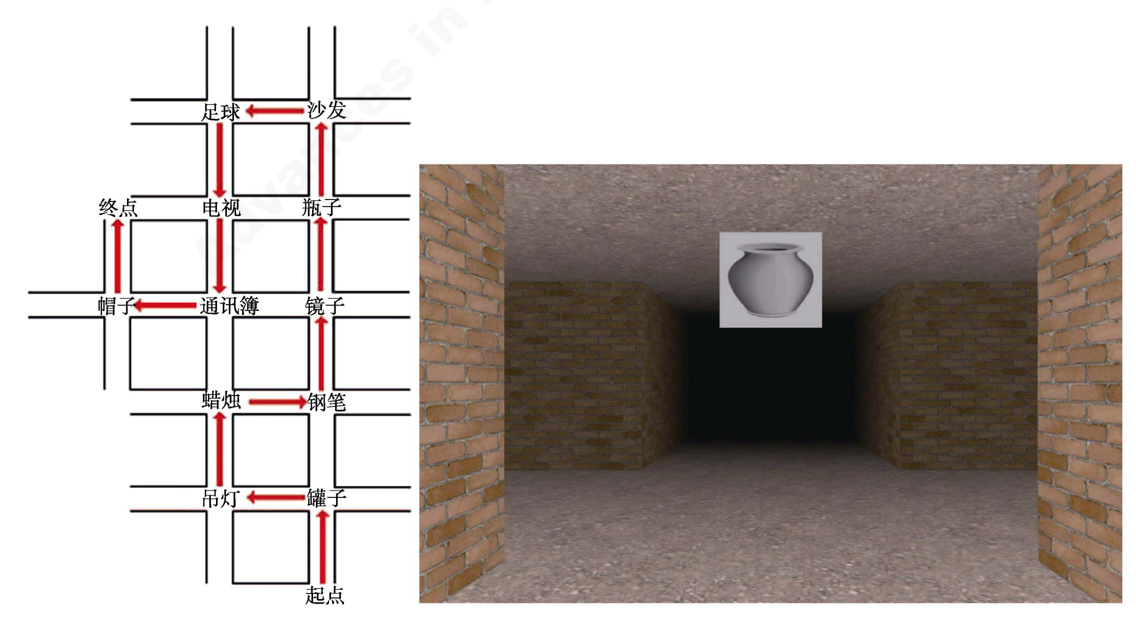


图 1　左：由 11 个交叉点组成的路径追踪路线示意图。右：一个十字路口的视觉呈现图

前人研究发现，当老年人以第一视角/自我导航学习一种路径时，其获得的环境知识要比年轻人少(Cushman, Stein, & Duffy, 2008; Jansen, Schmelter, & Heil, 2010)。路径追踪过程中观察到与年龄相关的困难，主要由于该过程未能形成独立于初始路径编码视点的灵活表征。学者提出想要成功的进行路径追踪，需要一种非自我中心表征(Wiener, Kmecova, & de Condappa, 2012)。然而在自我导航的过程中，老年人很难依赖路径视点编码形成足够灵活的非自我中心表征，从视点视角转换成整体视角也存在困难，因此无法支持准确的路径追踪(Allison & Head, 2017)。

不同于路径追踪，路径知识习得能力同样表现在路径整合(path integration)任务中，导航者依赖自身运动信息来估计当前的位置和自身相对于原点的方向，被认为是一种空间更新过程(Wan, Wang, & Crowell, 2012)。路径整合主要依赖内部线索包括前庭觉、本体觉、传出指令的副本等，也可以一定程度上依赖于外部线索——光流(optical flow)来提供自身运动信息。人类路径整合研究中一般采用返回起点任务，也称路径完成(Path completion)任务如图 2。其基本过程是被试从起点出发，经过几个路段的外出路径(Outbounds)后到达终点，任务要求从终点直接返回起点。一般而言，被试在行进过程中既经历了在同一个位置上的线性位移(也称平动)，又经历了路径交叉点上的角度位移(也称转动)。到达外出路径的终点时，需要估计起点的位置进一步做出方向判断和距离判断，此过程中将产生一定的位置误差(H 与 Hr 之间的欧式距离)、角度误差(ß−ßr)和距离误差(C−Cr)统称为路径完成误差。根据路径完成误差的大小判断被试任务完成的准确性和路径整合能力的高低。除路径完成任务可以测量人的路径整合能力外，其他一些实验也可以达到此目的。如，研究者要求被试先预览一个目标位置，再蒙住被试的眼睛使其自行走到初始位置。此外，研究者可以要求被试指出在行进过程中经过的一些位置相对于起点的空间关系，同时关注训练阶段和测试阶段。根据实际情况和研究目的设计不同的实验任务，测量个体对自身运动的感知能力。

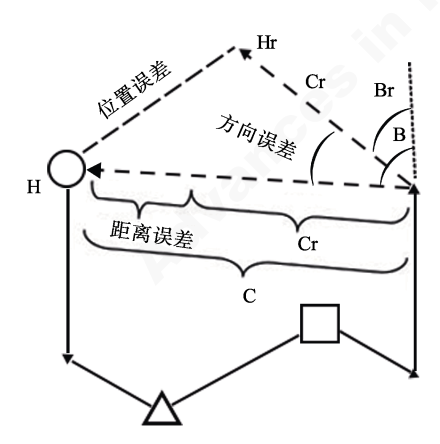


图 2　路径完成任务示意图。被试从 H 出发，穿过五条外出路径到达 A，要求直接返回 H。返回 H 的正确方式是先自转一个角度 ß，再前进一个距离 C。被试实际可能做出的反应是，转过角度 ßr 再前进一个距离 Cr，到达一个新的位置 Hr。通过评估位置误差、角度误差与距离误差来判断被试在路径完成任务中的表现。

根据上述实验范式，学者们进行了大量的研究发现：老化将损伤导航能力尤其是在一些领域，比如认知地图(Iaria, Palermo, Committeri, & Barton, 2009)和路径整合(Mahmood, Adamo, Briceno, & Moffat, 2009; Harris & Wolbers, 2012)。不同于路径追踪的认知过程，个体在实际的路径整合过程中并非仅依赖于非自我中心表征，而是根据不同的环境在自我中心与非自我中心之间进行策略转换。个体正常老化必然影响其路径整合的策略转换过程。前人研究结果显示，需要在两种导航策略之间进行转换的小鼠与实验控制组的小鼠相比任务完成度更差，这种转换能力受损的现象在老化的老鼠(Tanaka, Young, Gresack, Geyer, & Risbrough, 2011)、猴子(Hara, Rapp, & Morrison, 2012)和人类(Ashendorf & McCaffrey, 2008; Gamboz, Borella, & Brandimonte, 2009)研究中均有发现。Harris, Wiener 和 Wolbers (2012)提出，策略转换的能力对于导航过程是至关重要的，由老化引起的策略转换能力缺失将会导致导航能力的损伤。为了探究认知老化是如何影响路径整合过程，研究者们使用三角形完成任务范式(Mahmood, Adamo, Briceno, & Moffat, 2009; Mokrisova et al., 2016; Chen, McNamara, Kelly & Wolbers, 2017)和十字迷宫任务范式(Harris & Wolbers, 2012; Harris et al., 2012)对健康老年人进行实验研究结果发现，排除非自我中心处理过程本身的缺陷后，在自我中心策略向非自我中心策略转换的任务中，被试表现出显著的认知老化效应，逆向转换时并没有发现同样的现象

(Harris & Wolbers, 2014)。换言之, 认知老化主要影响了向较为复杂的非自我中心策略转换的过程。

总而言之, 认知老化在路径知识习得的追踪和整合任务中均表现出年龄相关的衰退效应。主要由于两种任务的完成有别于路径学习阶段, 需要对所获得的路径信息进行额外的认知操作、策略转换及决策, 形成灵活的非自我中心表征以支持非熟悉环境的空间导航。然而路径追踪与路径整合过程存在一定的差异。路径追踪任务的年龄效应主要反映在非自我中心表征的形成过程, 而路径整合任务中的年龄效应主要表现在个体寻路时向非自我中心策略转换的过程。这可能归于 1)不同任务的信息要求: 路径追踪任务更多要求信息的顺序性和连续性, 而路径整合任务则需要对环境特征信息进行整体的把握。2)任务的复杂性: 相比较而言, 路径整合任务的复杂性更高对被试操作执行能力的要求也更高, 路径追踪主要依赖被试的记忆能力。由此, 老年人在路径追踪和路径整合任务中表现出了显著的认知差异。一系列的研究结果解释了老年人在新颖环境比在熟悉环境年龄相关的导航能力下降更为显著的原因(Devlin & Wilson, 2010), 及为什么老年人经常主动避免不熟悉的路线和地点。路径知识习得的认知老化表现存在显著的差异, 而相关的认知老化机制究竟如何? 由此进入下一部分进行讨论。

3　衰退还是补偿: 路径知识习得中认知老化的机制

3.1　认知机制

关于认知老化衰退理论的研究由来已久, 大量文献都对老年人健康老化的认知衰退机制予以证实和支持。然而, 近来研究发现年龄所带来的老化效应并非完全负面, 相关的研究者提出了认知老化的补偿理论。由此针对两种理论存在的争议进行阐释和分析。对于认知衰退理论的研究: 首先, 在路径知识学习过程参照系可以是非自我中心也可以是自我中心。老年人的路径知识习得过程主要在新颖环境中进行, 因此依赖于非自我中心参考系。非自我中心的路径信息编码(Montefinese, Sulpizio, Galati, & Committeri, 2015)、工作记忆(Meneghetti, Pazzaglia, & Beni, 2015)、物体位置记忆(Kessels, Meulenbroek, Fernandez, & Olde Rikkert, 2010)、地标记忆(Muffato, Meneghetti, Di Ruocco, & De Beni, 2017)等过程均存在与年龄相关的损伤。其次, 关于路径信息更新的研究认为, 在要求快速适应变化信息的任务中年长参与者的表现也更差(Aisenberg, Sapir, d'Avossa & Henik, 2014)。老年被试在植物园虚拟迷宫实验中的路径信息习得效率普遍低于其他组被试, 并随着路径信息的增多进一步下降。在环境特征保持稳定的情况下, 老年群体在路径信息持续更新方面存在一定的困难(Zancada-Menendez et al., 2015)。有研究显示当有必要改变和整合几种不同类型的信息时, 老年人在空间学习任务中表现普遍不佳(Grewe et al., 2014; Gyselinck et al., 2013)。最后, 研究者通过虚拟迷宫实验对老年被试的路径学习能力进行研究发现, 老年人的路径策略切换能力存在显著缺陷(Harris et al., 2012)。在成功形成虚拟环境表征和非自我中心表征的前提下, 老年被试在路径切换、寻找新捷径、策略转换(自我中心与非自我中心的转换)三种任务中仍表现出显著的效率下降(Harris & Wolbers, 2014)。由此认为相关能力的缺陷并非主要源于非自我中心处理过程本身, 而是存在于由简单的自我中心策略向更为复杂的非自我中心策略转换的过程。

针对补偿理论, 现下研究处于初步阶段缺乏一定的系统性, 多数研究仅集中于认知神经领域。在此将尽可能对路径知识习得的认知补偿研究进行梳理。有证据表明, 老年人对交叉模式的刺激反应更快(Campbell, Al-Aidroos, Fatt, Pratt, & Hasher, 2010), 通过感觉通道整合一致的信息可能改善衰老引起的反应延迟问题(Laurienti, Burdette, Maldjian, & Wallace, 2006; Peiffer, Mozolic, Hugenschmidt, & Laurienti, 2007), 即多感觉通道(视觉、听觉、动觉)信息的一致性输入将提高老年人的空间认知能力。Mahoney, Li, Oh-Park, Verghese 和 Holtzer (2011)在实验中比较了年轻组与老年组被试的多感官融合能力对反应时间的影响。实验随机呈现听觉、视觉、躯体感觉刺激和三种成对的感觉输入, 包括听觉躯体感觉、听觉视觉和视觉躯体感觉刺激。结果显示与年轻人相比, 老年人在处理一致的视觉躯体感觉信息时表现出更大的优势, 出现明显的视觉躯体感觉联合区域的激活幅度增大。有研究者进一步通过实验发现, 随着年龄的增长多感官的融合和视觉上的主导地位更加明显(Diaconescu et al., 2013), 后顶叶和内侧

前额叶区域激活增强支持的多感觉反应可以提供一定的补偿作用，能够预测老年人跨模式的促进和整合能力。此外，通过横断法利用功能磁共振成像(fMRI)技术对老年被试的认知能力与脑部结构的变化进行研究，结果发现可能存在一种内部机制能够对减少的工作记忆调节信号进行补偿性的机械反应(Hakun et al., 2015)。Muffato, Meneghetti 和 De Beni (2016)根据老年被试在路径重复、指向和绘图等任务中的表现来判断其路径知识习得的效率，认为老年人在路径学习中其视觉空间能力在相关的任务中表现出一定的主导性。通过事件相关电位技术(ERP)与行为实验结合的最新研究发现，行为实验中老年被试在视听觉信息整合条件下，空间辨别任务的表现显著优于听觉和视觉条件，与年轻被试相比任务表现有更大的改善。ERP 的研究结果显示，老年人的视听信息呈现超加性整合(在视听觉整合条件下所测得的 P_2 振幅显著高于仅在听觉条件下的振幅)，而年轻人视听觉信息呈现亚加性整合(在视听觉整合条件下所测得的 P_2 振幅显著低于仅在听觉条件下的振幅)。视听整合的 P_2 振幅与老年组被试的行为实验得分相关性显著，与年轻组被试行为实验得分无显著相关。即多感觉整合的调制作用显著，老年被试的调制效应补偿了其相对下降的空间认知能力(Zou, Chau, Ting & Chan, 2017)。

路径知识习得认知老化的行为研究结果对补偿理论的证据支持极不充分。鉴于路径知识习得问题研究的特殊性，学者们以认知神经为切入点，探究了相关的脑部神经变化及其与路径知识习得认知老化的关系，以进一步深入探讨衰退与补偿问题。

3.2 神经机制

宛小昂(2016)提出，关于位置细胞、网格细胞、头部朝向细胞的神经生理研究证明，对空间位置做出反应的神经元为个体在环境中的定位和导航提供了必要的神经计算基础。大脑皮层和海马体的衰老退化(Stranahan & Mattson, 2010)可能促使网格细胞和位置细胞对增加的神经噪声更敏感，从而削弱人类计算传入位置信息的能力。与年龄相关的皮质退化(包括头部方向细胞)对空间技能和学习有破坏性的影响(Moffat, Elkins, & Resnick, 2006)。同时 Byrne, Becker 和 Burgess (2007)曾提出包含海马等边缘系统的空间记忆神经模型，在此模型中内侧颞叶负责长时记忆任务更新以环境为参照系的表征。研究发现，内侧颞叶(medial temporal lobe)对空间行为非常重要但极易受到衰老变化的影响，从而导致认知绘图能力受损。Harris 通过实验研究发现，老化引起前额去甲肾上腺的转换网络与海马连接功能的退化，进而引起导航策略转换缺陷。

与神经机制衰退观点不同，皮质去分化理论认为：健康的衰老伴随前额皮质神经元特异性的降低(Park & Reuter-Lorenz, 2009)，灰质体积总体减少(Resnick, Pham, Kraut, Zonderman, & Davatzikos, 2003)，额外顶叶和内侧前额叶皮质对老年人而言是一种适应性代偿性的神经机制，与年龄相关的顶叶和内侧前额叶活动的增加可以更快地检测出交叉模式的刺激。老年人以后顶叶和内侧前额叶为神经基础，完成多感官信息融合过程。此外，在前额叶皮层的检测中发现，与年轻人相比老年人 PFC 的活动更加活跃(Grady et al., 2010; Reuter-Lorenz & Cappell, 2008)。PFC 与大多数其他皮质区域相连，并通过与其他大脑结构分布的连接促进认知，因此激活和任务表现之间的正相关(更强的皮层激活与更高精度或更快反应时间之间的相关)可以视为成功补偿的证据(Phillips & Andres, 2010)。越来越多的证据表明，与年龄相关的前额皮层与其他皮质的功能性连接(fc)的变化可能反映了成功的补偿机制(Davis, Kragel, Madden, & Cabeza, 2012; Gazes, Rakitin, Habeck, Steffener, & Stern, 2012)。在此基础上，Hakun 等人使用 fMRI 比较切换任务中，老年被试的 PFC 激活幅度和功能性连接的模式。结果发现，PFC 与颞下区的功能性连接显著激活，与老年被试切换任务中的表现呈正相关。对于海马体 Grieves 和 Jeffery (2017)提出，海马体是一种空间和非空间输入的融合体。其他空间信号的获得来源如头部方向系统和网格细胞系统，很容易受到损伤但是即使缺失两种信号的输入，海马体依旧能够维持空间表征能力。表明海马体的活动是多重输入的结果，在老化衰退之前可以适应大量的损失。

整合以往的研究结果可以发现，现有路径知识习得过程衰退的主要认知机制是一般认知能力的下降、非自我中心表征形成困难和自我中心策略向非自我中心策略转换能力的缺失。这些机制的正常老化，导致了老年人在路径学习任务中与

年轻人相比表现出显著的能力下降。就神经生理学角度而言, 机制的衰退可以定位于从细胞到脑区再到神经系统层面的损伤和变化。因此将老化看作多维和多向变化的生命阶段, 正视年龄相关的各项机能的下降。此外针对路径知识习得过程的补偿机制, 从神经生理基础出发着眼于多感觉信息整合能力的变化。虽然老化过程中出现的优势与衰退相比是微小的, 但是视觉主导性、多感觉融合能力的提高及其他潜在内部神经机制的变化所支持的路径认知能力的补偿作用却不容忽视。当下研究发现的微弱优势还不足以解决整体认知能力衰退问题, 却能够为进一步加快寻找解决措施带来可能性。

4　小结与展望

本文整合和评估了前人文献中健康老年人在路径学习任务和测试中的认知表现及相关机制。证据表明, 由于老年人所处环境和路径特点不同, 在路径追踪和路径整合任务中表现出显著的认知老化差异, 这种差异主要反映在心理表征和策略转换过程。衰老引起了路径知识习得过程中多种能力的下降, 同时发现老年人保留了一定的空间认知老化补偿能力, 衰退与补偿理论都得到了相应的神经机制研究证据的支持。基于上述内容讨论老年人的路径学习过程, 对未来的研究提出一些建议, 并给出有效的外部措施以缓解空间认知老化问题。

将现有路径学习相关的研究数据作为一个整体进行探讨, 可以发现路径学习所涉及的各种能力变化及关系。环境知觉、工作记忆、策略转换、空间信息更新、学习不熟悉的路线等能力的下降, 及视觉主导性和多感觉整合能力的提高。在路径学习过程中, 年龄相关的差异在很大程度上由一般空间能力的变化所介导, 通过对路径布局的学习来调节寻路行为。换言之, 年龄、心理表征与寻路行为之间存在着不可割裂的关系。个体通过路径学习获得空间环境的心理表征, 寻路行为反映出知识习得的效率。然而, 路径知识习得所涉及的精确认知能力与其他相关过程的相互作用还未可知。这就产生了问题: 是否可以认为在特定的区域中出现与年龄有关的认知能力下降, 进而导致路径知识习得一般能力的衰退? 同样, 是否存在精确的区域用于支持认知老化的补偿机制? 如果存在, 各个区域如何表征? 因此, 清晰地描绘出支持各种能力的具体脑部区域和衰退程度, 对进一步的深入研究十分重要。

该领域现下仍处于不断发展的阶段, 目前的文献存在几大空白: 首先, 研究中一些变量与年龄相关的差异可能由于虚拟环境(Spence & Feng, 2010)中个人经验在计算机、电脑游戏、虚拟现实和视觉运动处理方面的差异造成的。该变量仅在一些研究中得到控制(Head & Isom, 2010)。同时, VR 设备限制了个体对自身运动信息的感受程度, 可能影响实验结果的准确性。其次, 现有的研究未能直接评估具体的大脑区域对观察到与年龄相关的行为差异的贡献。未来可以进一步对具体的行为机制进行脑功能定位, 分离影响路径知识习得不同脑区域的实际贡献, 以获得精确的认知老化损伤部位, 针对不同的部位提出不同的内部解决措施。最后, 对于路径知识习得多采用行为实验研究, 与行为指标相比电生物反馈指标更为灵敏, 因此可以尝试将生理指标与行为研究结果相结合对实验结果进行解释。

寻找减少认知损伤的方法, 从而提高整体的表现和综合能力, 这将是一个重要的挑战(Bates & Wolbers, 2014)。何承林和陈传峰(2013)提出, 活动参与能够在一定程度上延缓认知老化损伤。因此, 可以针对老年人开发出有效的培训活动, 使其能够在延缓认知老化的同时提高路径知识习得能力, 解决老人活动范围受限、寻路迷失等实际问题。此外, Allison 和 Head (2017)在实验中发现, 相比环境学习, 使用地图学习路径对老年人更有帮助, 有利于检索地表信息, 找到返回起始位置的方法。因此可以通过出行之前的地图学习来降低老年人出行迷失受伤的风险。未来应致力于将研究结果应用于实际生活, 找到有效缓解和弥补空间认知老化损伤的途径, 丰富老年人的路径知识, 提高其空间认知能力。为解决我国现下的老龄化问题, 提高老年群体的生活质量, 给予更多的建议和可能性。

参考文献

何承林, 陈传锋. (2013). 活动参与在认知损害中的延缓作用. *心理科学进展, 21*(3), 506–516.

宛小昂. (2016). *人类路径整合的现象与机制*. 杭州: 浙江大学出版社.

Adler, J., Beutel, M. E., Knebel, A., Berti, S., Unterrainer, J.,

& Michal, M. (2014). Altered orientation of spatial attention in depersonalization disorder. *Psychiatry Research*, *216*(2), 230–235.

Aisenberg, D., Sapir, A., d'Avossa G., & Henik, A. (2014). Long trial durations normalise the interference effect and sequential updating during healthy aging. *Acta Psychologica*, *153*, 169–178.

Allison, S., & Head, D. (2017). Route repetition and route reversal: Effects of age and encoding method. *Psychology & Aging*, *32*(3), 220–231.

Ashendorf, L., & McCaffrey, R. J. (2008). Exploring age-related decline on the Wisconsin Card Sorting Test. *The Clinical Neuropsychologist*, *22*(2), 262–272.

Bates, S. L., & Wolbers, T. (2014). How cognitive aging affects multisensory integration of navigational cues. *Neurobiology of Aging*, *35*(12), 2761–2769.

Borella, E., Meneghetti, C., Ronconi, L., & De Beni, R. (2014). Spatial abilities across the adult life Span. *Developmental Psychology*, *50*(2), 384–392.

Byrne, P., Becker, S., & Burgess, N. (2007). Remembering the past and imagining the future: A neural model of spatial memory and imagery. *Psychological Review*, *114*(2), 340–375.

Campbell, K. L., Al-Aidroos, N., Fatt, R., Pratt, J., & Hasher, L. (2010). The effects of multisensory targets on saccadic trajectory deviations: Eliminating age differences. *Experimental Brain Research*, *201*(3), 385–392.

Chen, X. L., McNamara, T. P., Kelly, J. W., & Wolbers, T. (2017). Cue combination in human spatial navigation. *Cognitive Psychology*, *95*, 105–144.

Cushman, L. A., Stein, K., & Duffy, C. J. (2008). Detecting navigational deficits in cognitive aging and Alzheimer disease using virtual reality. *Neurology*, *71*(12), 888–895.

Davis, S. W., Kragel, J. E., Madden, D. J., & Cabeza, R. (2012). The architecture of cross-hemispheric communication in the aging brain: Linking behavior to functional and structural connectivity. *Cerebral Cortex*, *22*(1), 232–242.

Devlin, A. L., & Wilson, P. H. (2010). Adult age differences in the ability to mentally transform object and body stimuli. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, *17*(6), 709–729.

Diaconescu, A. O., Hasher, L., & McIntosh, A. R. (2013). Visual dominance and multisensory integration changes with age. *Neuroimage*, *65*, 152–166.

Gamboz, N., Borella, E., & Brandimonte, M. A. (2009). The role of switching, inhibition and working memory in older adults' performance in the Wisconsin Card Sorting Test. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, *16*(3), 260–284.

Gazes, Y. L., Rakitin, B. C., Habeck, C., Steffener, J., & Stern, Y. (2012). Age differences of multivariate network expressions during task-switching and their associations with behavior. *Neuropsychologia*, *50*(14), 3509–3518.

Grady, C. L., Protzner, A. B., Kovacevic, N., Strother, S. C., Afshin-Pour, B., Wojtowicz, M., ... McIntosh, A. R. (2010). A multivariate analysis of age-related differences in default mode and task-positive networks across multiple cognitive domains. *Cerebral Cortex*, *20*(6), 1432–1447.

Grewe, P., Lahr, D., Kohsik, A., Dyck, E., Markowitsch, H. J., Bien, C. G., ... Piefke, M. (2014). Real-life memory and spatial navigation in patients with focal epilepsy: Ecological validity of a virtual reality supermarket task. *Epilepsy & Behavior*, *31*, 57–66.

Grieves, R. M., & Jeffery, K. J. (2017). The representation of space in the brain. *Behavioural Processes*, *135*, 113–131.

Gyselinck, V., Meneghetti, C., Bormetti, M., Orriols, E., Piolino, P., & De Beni, R. (2013). Considering spatial ability in virtual route learning in early aging. *Cognitive Processing*, *14*, 309–316.

Hakun, J. G., Zhu, Z. D., Johnson, N. F., & Gold, B. T. (2015). Evidence for reduced efficiency and successful compensation in older adults during task switching. *Cortex*, *64*, 352–362.

Hara, Y., Rapp, P. R., & Morrison, J. H. (2012). Neuronal and morphological bases of cognitive decline in aged rhesus monkeys. *Age*, *34*(5), 1051–1073.

Harris, M. A., Wiener, J. M., & Wolbers, T. (2012). Aging specifically impairs switching to an allocentric navigational strategy. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *4*, 29.

Harris, M. A., & Wolbers, T. (2012). Aging effects on path integration and landmark navigation. *Hippocampus*, *22*(8), 1770–1780.

Harris, M. A., & Wolbers, T. (2014). How age-related strategy switching deficits affect wayfinding in complex environments. *Neurobiology of Aging*, *35*(5), 1095–1102.

Head, D., & Isom, M. (2010). Age effects on wayfinding and route learning skills. *Behavioural Brain Research*, *209*(1), 49–58.

Iaria, G., Palermo, L., Committeri, G., & Barton, J. J. S.(2009). Age differences in the formation and use of cognitive maps. *Behavioural Brain Research*, *196*(2), 187–191.

Jansen, P., Schmelter, A., & Heil, M. (2010). Spatial knowledge acquisition in younger and elderly adults: A study in a virtual environment. *Experimental Psychology*, *57*(1), 54–60.

Kessels, R. P. C., Meulenbroek, O., Fernandez, G., & Olde Rikkert, M. G. M. (2010). Spatial working memory in

aging and mild cognitive impairment: Effects of task load and contextual cueing. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, *17*(5), 556–574.

Laurienti, P. J., Burdette, J. H., Maldjian, J. A., & Wallace, M. T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of Aging*, *27*(8), 1155–1163.

Mahmood, O., Adamo, D., Briceno, E., & Moffat, S. D. (2009). Age differences in visual path integration. *Behavioural Brain Research*, *205*(1), 88–95.

Mahoney, J. R., Li, P. C. C., Oh-Park, M., Verghese, J., & Holtzer, R. (2011). Multisensory integration across the senses in young and old adults. *Brain Research*, *1426*, 43–53.

Meneghetti, C., Pazzaglia, F., & Beni, R. (2015). Mental representations derived from spatial descriptions: The influence of orientation specificity and visuospatial abilities. *Psychological Research*, *79*(2), 289–307.

Miller, M., & Eilam, D. (2011). Decision making at a crossroad: Why to go straight ahead, retrace a path, or turn sideways? *Animal Cognition*, *14*(1), 11–20.

Montefinese, M., Sulpizio, V., Galati, G., & Committeri, G. (2015). Age-related effects on spatial memory across viewpoint changes relative to different reference frames. *Psychological Research*, *79*(4), 687–697.

Mokrisova, I., Laczo, J., Andel, R., Gazova, I., Vyhnalek, M., Nedelska, Z., ... Hort, J. (2016). Real-space path integration is impaired in Alzheimer’s disease and mild cognitive impairment. *Behavioural Brain Research*, *307*, 150–158.

Moffat, S. D. (2009). Aging and spatial navigation: What do we know and where do we go? *Neuropsychology Review*, *19*(4), 478–489.

Moffat, S. D., Elkins, W., & Resnick, S. M. (2006). Age differences in the neural systems supporting human allocentric spatial navigation. *Neurobiology of Aging*, *27*(7), 965–972.

Muffato, V., Meneghetti, C., & De Beni. R. (2016). Not all is lost in older adults' route learning: The role of visuo-spatial abilities and type of task. *Journal of Environmental Psychology*, *47*, 230–241.

Muffato, V., Meneghetti, C., Di Ruocco, V., & De Beni, R. (2017). When young and older adults learn a map: The influence of individual visuo-spatial factors. *Learning and Individual Differences*, *53*, 114–121.

Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: Aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, *60*, 173–196.

Peiffer, A. M., Mozolic, J. L., Hugenschmidt, C. E., & Laurienti, P. J. (2007). Age-related multisensory enhancement in a simple audiovisual detection task. *Neuroreport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*, *18*(10), 1077–1081.

Phillips, L. H., & Andres, P. (2010). The cognitive neuroscience of aging: New findings on compensation and connectivity. *Cortex*, *46*(4), 421–424.

Resnick, S. M., Pham, D. L., Kraut, M. A., Zonderman, A. B., & Davatzikos, C. (2003). Longitudinal magnetic resonance imaging studies of older adults: A shrinking brain. *The Journal of Neuroscience*, *23*(8), 3295–3301.

Reuter-Lorenz, P. A., & Cappell, K. A. (2008). Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, *17*(3), 177–182.

Spence, I., & Feng, J. (2010). Video games and spatial cognition. *Review of General Psychology*, *14*(2), 92–104.

Stranahan, A. M., & Mattson, M. P. (2010). Selective vulnerability of neurons in layer II of the Entorhinal cortex during aging and Alzheimer's disease. *Neural Plasticity*, *2010*, 1–8.

Tanaka, S., Young, J. W., Gresack, J. E., Geyer, M. A., & Risbrough, V. B. (2011). Factor analysis of attentional set-shifting performance in young and aged mice. *Behavioral and Brain Functions*, *7*, 33.

Wan, X., Wang, R. F., & Crowell, J. A. (2012). The effect of landmarks in human path integration. *Acta Psychologica*, *140*(1), 7–12.

Wiener, J. M., Kmecova, H., & de Condappa, O. (2012). Route repetition and route retracing: Effects of cognitive aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *4*, 1–7.

Zancada-Menendez, C., Sampedro-Piquero, P., Meneghetti, C., Labate, E., Begega, A., & Lopez, L. (2015). Age differences in path learning: The role of interference in updating spatial information. *Learning and Individual Differences*, *38*, 83–89.

Zou, Z., Chau, B. K. H., Ting, K. H., & Chan, C. C. H. (2017). Aging effect on audiovisual integrative processing in spatial discrimination task. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *9*, 374.

The cognitive aging effect of route knowledge acquisition

ZHANG Aizhen[1]; WANG Yao[1,2]; LI Jing[1]

([1] *School of Psychology, Nanjing Normal University, Nanjing* 210097, *China*)

([2] *Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang* 050000, *China*)

Abstract: The relationship between age and route knowledge acquisition is a significant issue in space and cognitive aging area. Old people demonstrate various performances of cognitive aging when confronting different path learning environments. The previous researches focused on the difference of age-related route knowledge acquisition ability, which mainly supported the theory of cognitive aging decline. However, recent studies have revealed that the aged might remain spatial cognitive compensation ability. Therefore, based on the review and reflection of the former literature, this review integrates the manifestation and mechanism of cognitive aging of route knowledge acquisition, in order to explore the underlying internal factors and external effective measures to alleviate spatial cognitive aging.

Key words: cognitive aging; route retrace; path integration; mechanism of decline; route knowledge